

**ANÁLISIS DEL USO DE LA CROMATOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA
CUALITATIVA DE DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.**

IVONNE NATHALIA NIVIA TORRES.

CÓD: 1.030.537.336.

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA.

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE.

AGRONOMÍA.

MOSQUERA, 2017.

**ANÁLISIS DEL USO DE LA CROMATOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA
CUALITATIVA DE DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.**

IVONNE NATHALIA NIVIA TORRES.

CÓD: 1.030.537.336.

Trabajo de grado monográfico presentado como requisito para optar

al título de Agrónoma.

Asesor:

CARLOS EDWIN CARRANZA G.

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA.

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE.

AGRONOMÍA.

MOSQUERA, 2017.

Nota de aceptación

Director del trabajo

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, ____ de 2017

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.	10
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	11
2.1. Antecedentes.	11
2.2. Pregunta de investigación.....	12
2.3. JUSTIFICACIÓN.....	13
2.4. OBJETIVOS.....	14
2.4.1. General:	14
2.4.2. Específicos:	14
3. DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD DE SUELOS	15
3.1. Importancia de las propiedades del suelo en sistemas productivos.	15
3.1.2. Metodologías de análisis de la composición física, química y biológica del suelo.	17
3.2. Introducción a la cromatografía.	23
3.2.1. ¿Qué es la cromatografía en la generalidad?.....	25
3.2.2. Cromatografía de suelos.....	29
3.2.3. Metodología de la cromatografía para suelos.	30
3.2.4. Interpretación del análisis cromatográfico.	34
3.2.5. ¿En qué suelos se puede hacer cromatografía?	47
3.3. ¿Qué marca la diferencia de la cromatografía frente al análisis de suelo convencional? ...	47
3.3.1. Características del suelo que se pueden evaluar según cada método de análisis.	48
3.3.2. Características que no se pueden evaluar en la cromatografía.	50
3.3.3. Interpretación los resultados del análisis convencional y de la cromatografía.	51
3.3.4. Diagnóstico del manejo del suelo a partir de resultados en cromatografía.	55
3.3.5. La cromatografía como complemento al análisis convencional de suelos.....	58
3.4. Otros factores a considerar.	59
3.4.1. Condiciones socio-económicas entre otras para llevar a cabo una cromatografía.	59

3.4.2. ¿En qué cultivos y estados fenológicos de los mismos puede ser hecho el cromatograma?	60
3.4.3. Experiencias de uso de la metodología en diferentes sistemas productivos.	61
5. CONCLUSIONES.	64
6. REFERENCIAS:	65
ANEXO 1: Análisis de suelo convencional.	69

RESUMEN.

El reconocimiento de la calidad del suelo con fines agrícolas, demanda un análisis a nivel físico, químico y biológico. En éste trabajo se indaga precisamente sobre la importancia de estas tres propiedades y con ello la metodología de análisis de cada una. Además, se define el término cromatografía en su generalidad, para luego pasar a profundizar en concreto sobre la metodología en suelos. En toda esta descripción, como para la interpretación de los cromas, se acompaña con imágenes ilustrativas de los diversos tipos, según su forma, color y armonía.

Luego, como segundo gran componente del trabajo, se busca marcar la diferencia entre la cromatografía de suelo y el análisis de suelo convencional, en donde se describe por ejemplo, las características del suelo que pueden ser evaluadas según cada método de análisis. Y, como tercer componente del trabajo, se indaga sobre otros factores a tener en cuenta para el desarrollo de una cromatografía, por ejemplo las condiciones socioeconómicas o el estado fenológico del cultivo.

Se concluye que, la cromatografía, logra comprobar el grado de actividad y calidad biológica en que encuentra la muestra de análisis, mostrando una evaluación integral del suelo respecto a la interacción de los aspectos minerales, orgánicos y enzimáticos. Ésta técnica también arroja resultados cualitativos y ello puede representar una ayuda didáctica para agricultores y un puente para hacer notar la importancia del análisis convencional.

Sin embargo, existen características específicas que no pueden ser evaluadas por la cromatografía, sumado al hecho de la forma diferencial de resultados en comparación con el análisis convencional, por estas razones, no se recomienda hacer un uso exclusivo de cualquiera de los dos métodos, sino que funcionen de apoyo entre ambos.

Por último, los trabajos académicos encontrados revelan que, la cromatografía es un importante apoyo para los análisis de suelo convencionales y también para otros sustratos como compostajes.

ABSTRACT.

The recognition of soil quality for agricultural purposes requires physical, chemical and biological analysis. In this work, we inquire precisely about the importance of these three properties and with it the methodology of analysis of each one. In addition, the term chromatography is defined in its generality, and then proceed to deepen in concrete on the methodology in soils. In all this description, as for the interpretation of the chrome, it is accompanied with illustrative images of the various types, according to their shape, color and harmony.

Then, as the second major component of the work, we try to mark the difference between soil chromatography and conventional soil analysis, where we describe, for example, soil characteristics that can be evaluated according to each method of analysis. And, as a third component of the work, other factors to be taken into account for the development of a chromatography, such as the socioeconomic conditions or the phenological state of the crop, are investigated.

It is concluded that, the chromatography, it is able to verify the degree of activity and biological quality in which the analysis sample finds, showing an integral evaluation of the soil with respect to the interaction of the mineral, organic and enzymatic aspects. This technique also yields qualitative results and this may represent a didactic aid for farmers and a bridge to emphasize the importance of conventional analysis.

However, there are specific characteristics that cannot be evaluated by chromatography, added to the fact of the differential form of results in comparison with the conventional analysis, for these reasons, it is not recommended to make exclusive use of either method, but that work support between both.

Finally, the academic papers found reveal that, the chromatography is an important support for conventional soil analysis and also for other substrates such as composting.

1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo es el desarrollo monográfico sobre cromatografía de suelos. En él, se presenta de manera compilatoria aspectos sobre la composición física, química y biológica del suelo. También se expone lo referente al desarrollo histórico de la cromatografía, en las diferentes ramas del conocimiento, para luego profundizar en el análisis de suelo como tal.

A través de esta investigación, se busca esencialmente dar respuesta al cuestionamiento: ¿qué ayuda representa un estudio cromatográfico para el agricultor o cualquier interesado en un análisis de la fertilidad del suelo?, ya que el estudio se enmarca en la línea de investigación de desarrollo rural, la cual hace referencia al mejoramiento de los instrumentos disponibles para nuevas estrategias en desarrollo rural.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

2.1. Antecedentes.

La calidad del suelo está referida por la Sociedad de Ciencias del Suelo de América como la “capacidad para funcionar dentro de los límites naturales, para sostener la productividad de plantas y animales, mantener la calidad del aire y del agua y sostener la salud humana” (Karlen, y otros, 1997). Dependiendo de los intereses de cada una de las ciencias que analicen el suelo, van a existir diversas cualidades a evaluar, desde el ámbito ambiental, pasando por el arquitectónico y hasta productivo.

Dentro de la agronomía se evalúa la capacidad productiva del suelo y gracias al análisis de suelo convencional se busca esencialmente, según Castellanos (2003):

- a) Determinar si existen limitantes que impidan que un cultivo exprese todo su potencial de rendimiento.
- b) Conocer los niveles de disponibilidad de los nutrientes, para decidir si se agregan estos elementos en la forma de fertilizantes, a qué dosis y con qué fuentes, así como predecir la necesidad de suministrar algunos elementos por la vía foliar durante el desarrollo del cultivo.

Nombrados estos dos factores fundamentales, el presente trabajo describe, como se ve en el apartado 3.1 del mismo, lo que a través de cada una de las propiedades: físicas, químicas y biológicas, logra caracterizar el análisis de suelo convencional.

Pero, a pesar de existir una serie de cualidades descritas según cada propiedad, García, Ramírez, & Sánchez (2012) plantean la problemática del carente consenso en torno a los indicadores de la calidad de los suelos y además, cómo los indicadores físicos, químicos y biológicos se evalúan de

manera aislada sin generar una visión integral del estado del suelo (Astier, Maass, & Etchevers, 2002). Es por ésta razón que el presente trabajo, plantea cómo el análisis cromatográfico puede convertirse en una ayuda técnica al análisis convencional, entregando la conexión del mundo orgánico y mineral, profundizando en las características de actividad biológica del suelo, revelando el carácter sistémico y de interacción de todas las propiedades entre sí.

2.2. Pregunta de investigación.

¿Qué ayuda representa un estudio cromatográfico para un agricultor o cualquier interesado en un análisis de la fertilidad del suelo?

2.3. JUSTIFICACIÓN.

Ante la problemática de carente visión integral de las evaluaciones físicas, químicas y biológicas, el presente trabajo busca identificar cómo la cromatografía es una ayuda técnica al análisis convencional.

También resalta la posibilidad de ser una ayuda didáctica o de primer acercamiento del agricultor al entendimiento de la interpretación de resultados técnicos y con ello, el llegar a reconocer la relevante importancia del análisis de suelo convencional. La cromatografía, además, es una herramienta que fácilmente puede ser implementada en espacios comunes al terreno de cultivo, por ejemplo: puede tomarse la muestra de suelo en terreno y luego de manera “casera”, sencilla y rápida, desarrollar el protocolo de pasos en un salón, bodega o área cubierta, vecina del cultivo.

El presente trabajo también busca ser un banco recopilatorio, en constante actualización, de experiencias en donde se implemente la cromatografía de suelos, para quien acceda al mismo, tenga la disponibilidad de referencias bibliográficas de los diferentes cromas y contrastar resultados, ya que son evidencias cualitativas y el aprendizaje se va reforzando gracias al contraste.

2.4. OBJETIVOS.

2.4.1. General:

- Analizar el uso de la cromatografía como herramienta cualitativa de diagnóstico de la fertilidad del suelo en sistemas de producción agrícola.

2.4.2. Específicos:

- Determinar las diferencias entre la cromatografía y el análisis convencional de suelos.
- Correlacionar la interpretación de resultados presentados desde la cromatografía versus el análisis de suelos convencional.
- Describir experiencias de uso de la cromatografía en sistemas de producción agrícola.

3. DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD DE SUELOS.

3.1. Importancia de las propiedades del suelo en sistemas productivos.

Para explicar la importancia del análisis de las propiedades del suelo, en áreas destinadas a sistemas productivos, es relevante describir las propiedades física, química y biológica del suelo respectivamente:

En cuanto a la trascendencia de la composición física del suelo en un sistema productivo, ésta radica en que:

El suelo es el soporte material adecuado de la raíz,(...) Desde el punto de vista físico, el suelo ha de proporcionar un medio adecuado a la germinación de las semillas y al desarrollo óptimo del aparato radicular; debe poseer una buena aireación, y una termicidad estable, una capacidad de retención hídrica apropiada, junto con un régimen de circulación de agua, que posibilitando un buen drenaje, no llegue a provocar un lavado excesivo así como una estructura estable que implique resistencia frente a procesos erosivos (Saña, como se cita en Labrador, 2008, pág.27).

Dentro de éste análisis de propiedades físicas se profundiza en términos como textura, densidad, porosidad y de ésta forma se desglosa en terminología la descripción física del suelo. Referente al término estructura muy citado dentro de ésta propiedad del suelo, algunos autores (Jaramillo, 2002) la ubican dentro de las propiedades macromorfológicas.

También debe tenerse en cuenta que, las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad del mismo porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer & Ewing, 2000). La calidad física del suelo se asocia con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas, lo cual reduce el efecto invernadero (Navarro, Figueroa, Martínez, González, &

Salvador, 2007) y conlleva un incremento de la producción agrícola (Lal, como se cita en García, Ramírez y Sánchez, 2012).

Ahora, en cuanto a la composición química del suelo, el objetivo es conocer el estado nutricional del suelo, explicar su pedogénesis, la taxonomía y su calidad, y basado en esta información tomar buenas decisiones para el mejoramiento de los suelos. “Involucra la determinación y cuantificación de los nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos y la evaluación de las transformaciones a que están sujetos” (IGAC, 2016).

Según Labrador (2008), el análisis químico describe la reserva y disponibilidad asimilable de los elementos, conociéndose así, la cantidad que puede ser aprovechada por las plantas y por el medio microbiano en el que se desarrollan, sin que se produzcan pérdidas, es decir, que las plantas siempre dispongan de cantidades óptimas para su crecimiento o desarrollo. Los términos que abarcan este análisis pueden ser: el contenido de macro y micronutrientes, pH, y capacidad de intercambio.

El análisis químico cumple con dos funciones básicas: a) indicar los niveles nutricionales en el suelo y así desarrollar un programa de fertilización b) monitorear los cambios en la fertilidad del suelo que ocurren a causa de la explotación agrícola y los efectos residuales de la aplicación de fertilizantes (INPOFOS, 1997).

El análisis químico del suelo permite entonces saber qué tipo de fertilizante aplicar, cuánto y cuando y permitirá hacer ajustes oportunos en la fertilización, en el cultivo, el incremento en la efectividad de la fertilización y la resultante disminución en los costos de producción (Múnera, 2012).

Y respecto a la fertilidad biológica, se expone en términos de magnitud y estado de la reserva orgánica en el suelo como también la abundancia y actividad de la biomasa edáfica.

En cuanto a parámetros relacionados con el medio vivo, los estudios sobre fertilidad biológica abordan la cuantificación de ésta biomasa y de su vitalidad. En este sentido, se proponen una serie de determinaciones enzimáticas como respuesta a la potencialidad de un suelo (...) como índice de fertilidad (Labrador, 2008, pg.28).

Según la USDA (1998), el suelo es la parte más diversa, biológicamente, de la tierra. Los organismos vivos del suelo mejoran la entrada y el almacenamiento de agua, la resistencia a la erosión, la nutrición de las plantas y la descomposición de la materia orgánica en él. La terminología relacionada con este análisis remite a la identificación de la biota y el manejo del suelo (laboreos, coberturas), el nivel de materia orgánica y las enmiendas orgánicas que se pueden realizar.

3.1.2. Metodologías de análisis de la composición física, química y biológica del suelo.

Las metodologías a continuación descritas han sido desarrolladas como protocolos técnicos de los análisis físicos, químicos y biológicos, los cuales describen la salud o fertilidad del suelo, entre muchos otros y son de interés particular para cualquier interesado en datos precisos sobre la calidad del suelo.

En cuanto a las metodologías de análisis de la composición física, se ha dicho anteriormente que, la textura es una de las propiedades a estudiar, ya que ésta establece las cantidades relativas de arena, limo y arcilla, en partículas de diámetro menores de 2mm. Según Jaramillo (2002) existen

dos métodos generales para la determinación de la textura del suelo: a) por sedimentación y b) al tacto.

El método por sedimentación consiste en dejar sedimentar una muestra de suelo en un medio líquido durante un determinado tiempo, al cabo del cual se cuantifica la cantidad de partículas de un determinado tamaño que hay en suspensión; la medida de las partículas en suspensión se hace directamente en el líquido, por medio de un hidrómetro (que es un densímetro), o muestreando aquella con una pipeta y cuantificando, posteriormente, la cantidad de material extraído. La textura del suelo, para los fines prácticos normales, se determina por el método del hidrómetro o de Bouyoucos (Jaramillo, 2002, pg. 166).

El resultado arrojará un término clasificatorio dentro de las 12 clases texturales que van desde arenosa hasta arcillosa pasando por franco arcillo arenosa, así por ejemplo, a un suelo que presente 50% de arcilla, 30% de limo y 20% arena, le corresponde la clase textural arcillosa, estas definiciones fácilmente se hacen con ayuda del diagrama textural de la USDA (Gisbert, Ibáñez, & Moreno, 2010).

En cuanto a la determinación por tacto (o en campo), está basada en la observación directa, la cual resulta muy útil cuando se deben realizar gran número de observaciones en corto tiempo, un buen reconocimiento se logra gracias a la experiencia, en la cual se verifica que la arena da una sensación al tacto abrasiva y visualmente brillante, el limo se asemeja al talco o la harina y la arcilla con la humedad, asemeja la plastilina (Pellegrini, 2014).

Así mismo, dentro de las metodologías para la determinación de la densidad del suelo, se analizan dos datos básicos: a) densidad real o de partícula, que corresponde a la densidad de la fase sólida del suelo y b) densidad aparente que incluye el volumen de partículas y el volumen vacío de los poros. En general para la mayoría de los suelos agrícolas, se pueden considerar valores de densidad

real de alrededor de 2,65 gr/cc. Un método muy recomendado para medirla es a través del picnómetro (Gil, 2002).

En un suelo cuya mineralogía esté dominada por óxidos de hierro se presentará una densidad real muy por encima del valor promedio anotado anteriormente. De otro lado, los valores por debajo del promedio pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica y/o de aluminosilicatos no cristalinos en el suelo (Jaramillo, 2002, pg. 186).

Para el cálculo de la densidad aparente, se hace con el suelo a capacidad de campo y se puede utilizar el método de cilindro biselado en suelos que poseen poca o ninguna pedregosidad y así mismo está el método de la cajuela o excavación para suelos con alto contenido en gravas o gravillas (Rubio, 2010).

Por último, sobre análisis físico, se retoma el término porosidad, la cual describe el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y gases, su determinación resulta de la relación entre densidad real y aparente. Teóricamente se acepta como buena una porosidad total promedia de alrededor de 50% (Gil, 2002).

A continuación, por lo que se refiere a las metodologías dentro del análisis químico, es importante ahondar en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual es descrita como la “capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo, (...) los cationes adsorbidos pueden ser intercambiados por otros de la solución del suelo, convirtiéndose en cationes intercambiables, necesarios en los procesos de nutrición de la planta” (Jaramillo, 2002, pg. 321).

La CIC depende de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica. En general, entre más arcilla y materia orgánica en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor. También, la CIC es

afectada fuertemente por el pH al cual se hace la determinación, razón por la cual se han estandarizado varios métodos para evaluar esta propiedad (Fernandez, y otros, 2006).

Para determinar la CIC del suelo, con cualquiera de los métodos disponibles (dependiendo del pH que presente el suelo), se siguen básicamente tres etapas en todos los métodos (García, como se cita en Jaramillo, 2002):

- Etapa de saturación del suelo con soluciones salinas de un determinado catión.
- Etapa de lavado del exceso de la solución saturadora.
- Etapa de determinación del catión indicador extraído del suelo.

En conclusión, la CIC de un suelo es la suma de la CIC de la arcilla, más la CIC de materia orgánica que la contiene y se expresa en cmol (+) kg^{-1} de suelo o en meq (100 g de suelo)⁻¹.

Extendiendo la revisión sobre las metodologías del análisis químico, se hace necesario hablar sobre pH, el cual, se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos, que se da en la interfase líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Tres son las condiciones posibles del pH en el suelo (dentro de una escala de 0 a 14): acidez (0), la neutralidad (7) y alcalinidad (14), y se determinan en forma potenciométrica o colorimétrica, siendo el primero el más usado en el laboratorio (Fernandez, y otros, 2006).

Uno de los grandes intereses al realizar un análisis químico de suelo, radica en conocer la disponibilidad de nutrientes en el mismo, ya que:

Existen más de 100 elementos químicos en la naturaleza, de los cuales solamente 17 se consideran esenciales para la vida de las plantas. Como producto de estas experimentaciones, diversos

investigadores llegaron a la conclusión que sin estos “elementos esenciales” las plantas no pueden completar su ciclo de vida, pues estos elementos están implicados directamente en funciones de crecimiento y reproducción y son vitales en la mayoría de las plantas para sobrevivir, además que son esenciales porque no pueden ser reemplazados por otros elementos para suplir sus funciones (Barrera, Cruz, & Melgarejo, 2010, pg. 80).

Algunos de estos elementos esenciales, son tomados por la planta a partir del aire o el agua y son considerados no minerales, los otros nutrientes minerales son clasificados en macro y micronutrientes. “Dentro de los macronutrientes encontramos el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S). Por su parte, los micronutrientes incluyen el boro (B), el cloro (Cl), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el molibdeno (Mo), el níquel (Ni) y el zinc (Zn)” (Barrera, Cruz, & Melgarejo, 2010, pg. 80).

Para determinar la cantidad de macronutrientes dentro de un suelo, la metodología varía también según el pH de los mismos, por ejemplo, la determinación de calcio y magnesio para suelos con un pH menor de 5,5 (suelo ácido) se describe como: los cationes intercambiables calcio y magnesio, se desplazarán con una solución no amortiguada de cloruro de potasio (1 M). Luego se mide la concentración de cada catión en el extracto por absorción atómica. En suelos ácidos, una concentración de menos de 4 meq Ca 100 g⁻¹ puede ser deficiente; más de 10 meq 100 g⁻¹ es alta. Como una baja concentración de magnesio, se considera un menos de 0,5 meq 100 g⁻¹ y más de 4 meq 100 g⁻¹ como alta concentración (McKean, 1993).

Pasando al caso de otro macronutriente, el potasio, se argumenta que:

Existe en cuatro formas en el suelo: estructural, fijado, intercambiable y soluble (...) Las formas más disponibles para la planta son el potasio soluble y el potasio intercambiable el cual está asociado con la materia orgánica. Para desplazar el potasio intercambiable en el suelo, se puede usar una solución de

cloruro de amonio (1 M) o la solución de Bray II (HCl 0,1 M Y HN_4F 0.03 M), la cual se usa para determinar fósforo en el suelo (McKean, 1993, pg. 27).

Por último, sobre análisis químico, para la medición del fósforo además del método Bray II, se puede lograr a través del método Bray I, Olsen y Mehlich. “Todos los métodos tienen un periodo de extracción, seguido por la medida del P en el extracto por colorimetría. La manera más común para determinar el P en el extracto es el método de azul de molibdeno” (McKean, 1993, pg. 35).

Tras las metodologías de análisis físico y químico, se aborda el análisis biológico, en donde se describe el proceso de determinación de carbono orgánico oxidable en suelo o materia orgánica. McKean (1993) afirma que no existe una manera satisfactoria de determinación de materia orgánica y por esto se calcula indirectamente con la medida de carbón orgánico, utilizando un método modificado de Walklei y Black cuyo método está basado en una oxidación húmeda, oxidando la muestra en una solución de dicromato de potasio, utilizando el calor de la dilución de ácido sulfúrico.

Otro método que puede ser usado para la determinación de materia orgánica es el de calcinación, este método consiste en dejar secar la muestra de suelo a 105°C, luego se pesa, después pasa a ser calcinada en una mufla en temperaturas desde los 200°C hasta 650°C y la diferencia de pesos entre la inicial y la final determinará la cantidad de materia orgánica presente en la muestra (Eyherabide, Sainz, Barbieri, & Echeverría, 2014).

Un método además de los dos ya nombrados, se realiza con peróxido de hidrógeno y resulta útil para suelos en los que el nivel de materia orgánica es bajo. Su metodología consiste en aplicar el peróxido de hidrógeno a la muestra de suelo ya tamizada y llevar en baño María, luego, ya seca la

muestra la diferencia de pesos en antes y después dará el total de materia orgánica expresado en porcentaje; el peróxido de hidrógeno causa destrucción de la materia orgánica por oxidación (Reyes & Barreto, 2010).

Las metodologías anteriormente relacionadas han sido desarrolladas, por diferentes autores, para trabajar en laboratorio de suelos, cumpliendo con protocolos que permiten el análisis preciso de las diferentes características del suelo; así mismo, existe la metodología de cromatografía que permite el análisis físico, químico y biológico del suelo de forma cualitativa, es catalogada como una metodología más sencilla y práctica que las anteriormente expuestas y puede resultar un buen apoyo en los procesos de análisis de estado de los suelos.

3.2. Introducción a la cromatografía.

La historia de la cromatografía menciona una primera descripción de 1855, realizada por Karl Runge, químico alemán que separó materiales inorgánicos en el papel (Freifelder D. , 1981).
Luego:

En 1903 Mijaíl Tswett empleó una fase inmóvil de polvo de tiza (carbonato de calcio) y una fase móvil de disulfuro de carbono para separar los pigmentos vegetales que estaba estudiando. Se le ocurrió introducir la tiza en una columna y luego hizo pasar por ella los extractos vegetales que contenían los pigmentos que deseaba purificar (clorofilas [verdes], carotenoides [naranjas] y xantofilas [amarillos]). Observó que se podían separar muy bien los colores (pigmentos) en forma de anillos a lo largo de la columna, pero no bautizó aún la técnica con ningún nombre en el artículo que publicó en ruso al respecto (Claros, 2011).

La cromatografía llegó a ser una técnica más reconocida con los estudios de Archer Martin y John Synge, quienes introdujeron el método de análisis cromatográfico llamado de reparto sobre papel, que permite separar los aminoácidos de las proteínas de la materia viva. Por este trabajo, ambos científicos recibieron el premio Nobel de Química en 1952 (Biografías y vidas, 2004 - 2016).

En cuanto a los investigadores que hicieron aportes a la cromatografía de suelo se destacan principalmente a Ehrenfried Pfeiffer (1889 – 1961) científico alemán, el cuál acatando influencias de Rudolf Steiner (fundador de la agricultura biodinámica), desarrolla en los años 50, la prueba de cromatograma de filtro redondo para detectar valores biológicos y la situación cualitativa de la tierra y de diferentes tipos de compost. Esta prueba corresponde procesalmente al principio de análisis frontal que describió Karl Runge (Hais & Macek, como se cita en Darzau, 2006).

Pfeiffer desarrolló el método de la cromatografía sobre una superficie plana de papel, lo que él llamó *Chroma Test*, y con él logra separar una vitamina C natural de la sintética industrial y mostrar diferencias cualitativas entre ambas. Un trabajo contemporáneo a la época de Pfeiffer lo desarrolla Lily Kolisko (1879 – 1976) quien con ayuda de Eugen Kolisko, analizan jugos de plantas a través de una columna de vidrio y llaman a esto dinamólisis capilar. Trabajos posteriores los desarrolló Theodor Schwenk (1910 – 1986) investigador alemán quien colgaba gotas de solución de suelo en una aguja a determinada distancia de un vidrio plano y fotografiando en el momento adecuado el choque de agua con la superficie, se podían leer algunas cualidades del suelo (Restrepo & Pinheiro, 2011).

3.2.1. ¿Qué es la cromatografía en la generalidad?

Una definición dada por Keulemans define a la cromatografía como un “método de separación en el que los componentes a desglosar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye un lecho estacionario de amplio desarrollo superficial y la otra es un fluido que pasa a través o a lo largo del lecho estacionario” (Silva & García, 2006).

Otros autores lo describen como un método cualitativo técnicamente simple, relativamente rápido para evaluar los alimentos, el compost y el humus del suelo (Hassold, 2003).

La palabra cromatografía significa literalmente “escribir en colores”, ya que cuando fue desarrollada, los componentes separados eran colorantes. Se trata de una técnica o método físico de separación de dos o más solutos presentes en una mezcla basada en la velocidad de desplazamiento de los mismos. En ella participan dos fases, una móvil (líquida o gaseosa) y otra estacionaria (sólida o líquida) (Muñoz & Túnez, 2004).

Existe una amplia gama de clasificación de las técnicas cromatográficas: 1. De acuerdo con la forma del lecho cromatográfico, 2. De acuerdo con el estado físico de las fases, 3. De acuerdo con el mecanismo de separación, 4. Y algunas técnicas especiales (Freifelder D. , 1991). Entrando en el detalle de ésta clasificación, se puede decir de cada una de ellas que:

1. De acuerdo con la forma del lecho cromatográfico, existe la cromatografía plana y es un ejemplo de cromatografía líquida, en donde la fase estacionaria se desarrolla sobre la superficie de un plano, luego la fase móvil fluye a través de ella. La fase móvil es un líquido para todos los casos, y la fase estacionaria puede ser líquido soportado en un sólido o un sólido sorbente. Su flujo se desarrolla gracias a la capilaridad y la gravedad. Se puede desarrollar sobre papel o sobre “capas finas” (Varcárcel & Gómez, 1988).

Según la forma de lecho también se define la cromatografía en columna, la cual utiliza una columna o tubo cilíndrico, en donde se coloca la fase estacionaria y a través de la misma se hace pasar la fase estacionaria (Varcárcel & Gómez, 1988).

2. De acuerdo al estado físico de las fases se encuentra la cromatografía de gases:

Es una técnica analítica que puede ser utilizada para separar compuestos orgánicos, basada en sus volatilidades. También provee información cualitativa y cuantitativa de los componentes presentes en una mezcla. Los componentes son separados por sus diferencias de partición entre la fase móvil gaseosa y la fase estacionaria en la columna, permitiendo que sean separados en tiempo y espacio. La forma más usual de hacer cromatografía de gases es utilizando un líquido como fase estacionaria; recibe entonces el nombre de cromatografía gas-líquido (CGL). También se utilizan absorbentes, dando lugar a la cromatografía gas-sólido (CGS), pero en mucho menor proporción (Olguín & Rodríguez, 2004, pág. 6).

Existe una amplia gama de ejemplos, en los cuales, es implementada esta técnica de gases, es tan amplia la lista de ejemplos que resulta conveniente organizarlos en grupos de interés, como lo es en el mundo de los comestibles, saborizantes y fragancias, análisis de pesticidas y productos naturales. También el petróleo y químicos en donde hay análisis de ácidos grasos o combustibles. Además en el campo ambiental, en donde se analizan contaminantes de agua, tierra o aire y en el campo médico y biológico se hacen análisis en sangre, por ejemplo, niveles de alcohol o drogas en general (Olguín & Rodríguez, 2004).

Continuando con el aparte referente a estado físico de las fases encontramos que la cromatografía líquido-líquido, o de partición emplea una fase estacionaria líquida, con soporte sólido, y una fase móvil también líquida. El soporte sólido suele ser gel de sílice, sobre cuya superficie se ha anclado

una fase líquida con la incorporación de una cadena hidrocarbonada larga específica, esto ofrece una fase líquida estacionaria térmicamente estable y difícil de hidrolizar en normales condiciones (Varcárcel & Gómez, 1988).

Dentro de tipo de cromatografía líquida se encuentra la cromatografía líquida de alta presión o de alta eficacia (HPLC). Ésta es el resultado de las interacciones específicas entre las moléculas de la muestra con ambas fases: móvil y estacionaria. Estas interacciones no se dan en la fase móvil para la cromatografía de gases. La HPLC ofrece gran variedad de fases estacionarias, así permite una mayor gama de estas interacciones selectivas y más posibilidades para la separación (Romero, 2002).

3. De acuerdo al mecanismo de separación: la adsorción, es una técnica empleada para separar mezclas en sus componentes puros, para purificarlos o hacer comparaciones cuando se cree que son idénticos. Se puede realizar en columna, en capa fina, en papel. “Se basa en el diferente grado de adsorción de cada compuesto orgánico sobre la superficie de una sustancia químicamente inerte, denominada adsorbente, de modo que el compuesto se ve atraído a las zonas polares del adsorbente por fuerzas electrostáticas” (Molina, y otros, 1991, pág. 22).

Según el mecanismo de separación, también se define la cromatografía de reparto: la cual se utiliza para el reconocimiento de moléculas de bajo peso molecular. La fase estacionaria líquida está retenida por un soporte sólido, que deberá reunir una serie de características. Los soportes sólidos más utilizados son: gel de sílice, tierra de diatomeas y celulosa (Freifelder D. , 1991).

Asimismo existe el mecanismo de separación por intercambio iónico, que es una variante de la cromatografía líquida de alta presión (HPLC). Es un método eficaz para la separación y determinación de iones, basado en el uso de resinas de intercambio iónico.

Este método se centra en la separación y determinación de iones (y moléculas polares), basándose en el uso de columnas de intercambio iónico. Estas columnas retienen en mayor o menor grado a los analitos en función de sus interacciones iónicas (polaridades). La superficie de la fase estacionaria presenta grupos funcionales de carácter iónico que interaccionan con los iones de carga opuesta presentes en la disolución. [...] El resultado es un cromatograma donde la posición de los máximos indica el ión presente (análisis cualitativo) y el área corresponde a su concentración en la disolución (análisis cuantitativo). Este tipo de cromatografía se subdivide en cromatografía de intercambio catiónico y cromatografía de intercambio aniónico, siendo esta última la que presenta mayores aplicaciones (Peiró & Encinar, 2008).

Continuando con los mecanismos de separación existe la cromatografía de exclusión o de exclusión molecular. Se fundamenta en diferencias de tamaño, forma o carga entre las moléculas de los distintos componentes de la muestra, pero lo más habitual es aprovechar las diferencias de forma y tamaño. En este caso, se la llama también cromatografía de exclusión por tamaño, de filtración en gel, de permeación en gel o de tamiz molecular. Es una técnica eficaz para separar grupos de solutos, basado en su tamaño efectivo de solución. Las fases estacionarias son polímeros entrecruzados que forman una red de poros uniformes, así una fase móvil con moléculas demasiado grandes será excluida (Gennaro, 2000).

4. En último lugar, se definen algunas técnicas especiales que incluyen la cromatografía de fase normal, la cual tiene una fase estacionaria polar y en cuanto más fuerza polar más fuerte será su poder eluyente. Y la cromatografía de fase inversa se refiere a una fase

estacionaria no polar, en donde menos fuerza polar hay en el disolvente más fuerte será su poder eluyente (Harris, 2007).

Otras técnicas especiales son la elución isocrática que se realiza con un único disolvente, o una mezcla de varios que crean una composición fija, si esto no es posible de manera rápida se utiliza entonces una elución en gradiente (Harris, 2007).

3.2.2. Cromatografía de suelos.

La metodología específica de cromatografía de suelos se entiende gracias a que:

Pfeiffer encontró que en una solución de hidróxido de sodio (NaOH), preparada al 1%, en una muestra de suelo vivo era suficiente para solubilizar las sustancias nitrogenadas del metabolismo de los microorganismos presentes en ella, las cuales reaccionaban por la cantidad de $N / NH_3 / NO_2 / NO_3$, al ser expuestas sobre un papel filtro especial impregnado con nitrato de plata, y luego revelaban una serie de colores y distancias específicos. Cuanto mayor era el contenido de sustancias nitrogenadas, mayor el anillo de compuestos y la intensidad de colores presentes, los cuales varían conforme a la presencia de oxígeno (oxidante) o azufre (reductor) antagónicos, liberados por los microorganismos predominantes en el momento de la recolección de la muestra de suelo. Ese método también permitió evaluar los minerales, los que por su solubilidad, valencia y grado de óxido reducción forman diferentes círculos radiantes sobre el papel impregnado o cromatograma (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Cabe aclarar que los diversos análisis que se pueden hacer con la cromatografía de suelos son de carácter cualitativo es decir, se recoge una descripción de términos para luego proceder a una interpretación a través de adjetivos, aún no se ha desarrollado una metodología que interprete los

diferentes cromas de manera cuantitativa. La cromatografía, como metodología, acude a una forma de análisis químico para examinar las muestras de suelo, buscando solubilizar las sustancias nitrogenadas del metabolismo de los microorganismos presentes en la muestra; es así como cuanto mayor el nivel de sustancias nitrogenadas mayor será la intensidad de colores presentes (Restrepo & Pinheiro, 2011).

La cromatografía arroja resultados alusivos a las propiedades biológicas del suelo, como lo es presencia de materia orgánica activa (no quiere decir que necesariamente esté integrada al suelo ni biológicamente activa en él) y actividad microbiológica. También se analiza una zona mineral, aunque en ella no hay una diferenciación específica de los tipos minerales, se puede interpretar la integración con la materia orgánica, por ejemplo. Y también existen algunos rastros en el cromatograma que permiten evidenciar erosión o compactación, aunque para este diagnóstico sea más relevante el previo acercamiento al terreno de donde provienen las muestras (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Este método cualitativo cromatográfico no sustituye a ningún otro análisis puramente químico. Sin embargo, debido a su simplicidad, puede servir como una buena orientación técnica (Hassold, 2003).

3.2.3. Metodología de la cromatografía para suelos.

Siguiendo la metodología presentada por Restrepo y Pinheiro (2011), quienes se basaron en la metodología enseñada por Pfeiffer (1984) el protocolo para realizar una cromatografía de suelos es:

Materiales en campo:

- 1 Palín o pala recta para sacar muestras de tierra en el campo.

- 1 Azadón.
- 1 Machete.
- 1 Paquete de bolsas de plástico o papel encerado para recolección de las muestras.
- 1 Rollo de cinta adhesiva ancha de enmascarar,
- Marcadores, lápices.
- Disponibilidad de una mesa grande y un lugar a la sombra para poder trabajar con la preparación de las muestras y su pesaje.

Tareas en campo:

- a. Reconocimiento y diagnóstico general del terreno, junto con el agricultor se debe tener conocimiento del manejo presente y de las tareas (químicas, mecánicas, biológicas) presentes y previas que se mantienen en el cultivo.
- b. Muestreo de suelo para el análisis. Teniendo claro las zonas a las cuales se les hará el muestreo se debe hacer la colecta de suelo con herramientas limpias, si son una gran cantidad se puede pensar en mezclar las diferentes muestras. La cantidad puede ser entre medio kilo a kilo. La profundidad variará dependiendo el propósito de cada cultivo, por ejemplo, en hortalizas se puede tomar de 10 a 40cm, para pastos forrajeros de 20 a 50cm, frutales hasta 1.5m de profundidad.
- c. Identificación de las muestras. Cada una de las muestras debe quedar debidamente rotulada y marcada con lugar de muestra y profundidad, en recipientes o bolsas plásticas o cualquier recipiente que no se deshaga con la humedad que tengan las muestras.

- d. Secado de las muestras. Se deben poner a secar a media sombra, evitando luz directa, la humedad de la lluvia o transporte de las mismas en papel que suelte alguna tinta.
- e. Con las muestras ya secas se toman cantidades de 100 a 150 g haciéndolas pasar por un colador plástico, un material metálico puede afectar con el tiempo la calidad del análisis.
- f. Molienda de la muestra: Se debe macerar la muestra en un recipiente preferentemente de porcelana, hasta obtener polvo fino y de allí sacar 5g.
- g. Pesaje y contramuestra: Se pesan muestras de 5g, lo restante preferiblemente se conserva en bolsas de papel encerado y luego empaque de vidrio para contramuestra.

Tareas en laboratorio: (O espacio cerrado donde se pueda controlar corrientes de aire, luz directa y posibles accidentes con los reactivos).

Materiales:

- Una caja de papel filtro N° 1 de 15 cm (150mm) de diámetro.
- Una caja de papel filtro N° 4 de 15 cm (150mm) de diámetro.
- Una caja de papel filtro N° 6 de 9 cm (90mm) de diámetro.
- Balanza electrónica capaz de pesar de 1/2 g hasta 100 g.
- 15 cajitas Petri de 5cm de diámetro (pueden ser plásticas).
- 100 g de hidróxido de sodio o soda cáustica (obligatorio).
- 10 gr de nitrato de plata en cristales (obligatorio).

Tareas:

- a. Preparar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) o soda caustica al 1% en agua destilada para disolver la muestra de suelo que será analizada.
- b. Preparar una solución de nitrato de plata (AgNO_3) al 0,5%.
- c. Preparación del papel filtro circular. Perforación de la parte central, y corte de los rollitos, teniendo en cuenta la referencia de cada uno de ellos según la función que cumplirán.
- d. Impregnación del papel filtro. Se deja impregnar los primeros 4 cm de papel con nitrato de plata, luego se retira el rollo y se deja secar dentro de una cámara oscura, no tiene que ser un cuarto oscuro, puede ser una caja de cartón que no deje filtrar nada de luz.
- e. Mientras el papel se seca, se debe disolver los 5g de suelo en 50 mL de solución de NaOH. Esta mezcla debe quedar muy bien agitada. Finalmente se deja en reposo durante unas 6 horas, dependiendo del tipo de suelo analizado el tiempo de reposo puede pasar a ser hasta de 12 horas por ejemplo con un suelo altamente mineralizado sin mucha materia orgánica.
- f. Se dispone a utilizar el sobrenadante de cada muestra para ponerla a “correr” en el papel filtro ya seco.
- g. Se saca el rollo y se dejan secando de manera horizontal, y se van exponiendo gradualmente a la luz.

- h. Se deben rotular con la información necesaria, conservados y guardados lejos de la humedad.

3.2.4. Interpretación del análisis cromatográfico.

Del mismo modo que el protocolo de elaboración de un croma, la interpretación se expone siguiendo la metodología de Restrepo y Pinheiro (2011), quienes se basaron en la metodología enseñada por Pfeiffer (1984):

La interpretación se puede hacer revisando cada una de las zonas que lo componen como tamaño, forma y los colores de cada uno. Son cinco zonas del centro hacia afuera: central, interna, intermedia, externa y periférica (figura 1).

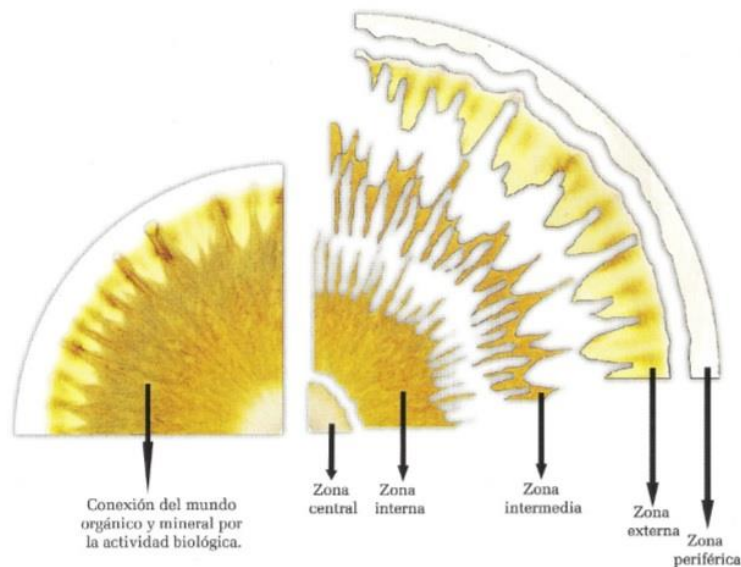


Figura 1. Zonas de un cromatograma. Formas y colores “ideales”. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

Zona central (zona de aireación u oxigenación): La ausencia de ésta zona se debe al maltrato de suelo por mecanización, venenos, o exposición directa a rayos del sol, es decir hay compactación y carencia de materia orgánica. Otras características que pueden revelar malos síntomas son un

color totalmente negro, ceniza o gris, integrado de forma homogénea con la próxima zona mineral del croma, el cual al borde presenta forma de dientes puntiagudos (figura 2).

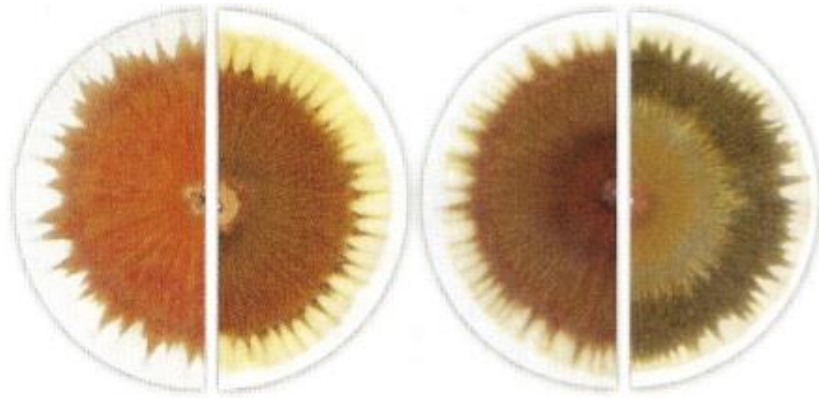


Figura 2. Ejemplos de figuras con una deficiente zona central. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

El color blanco muy bien definido revela la reacción del nitrato de plata con sustancias de alto contenido de nitrógeno, esto puede ser debido a que el suelo está recibiendo altos contenidos de abonos nitrogenados o abonos químicos o constantes aplicaciones de herbicidas. También puede ser por el uso de abonos orgánicos con estiércoles que aún están crudos o que han sido mezclados con urea (figura 3).

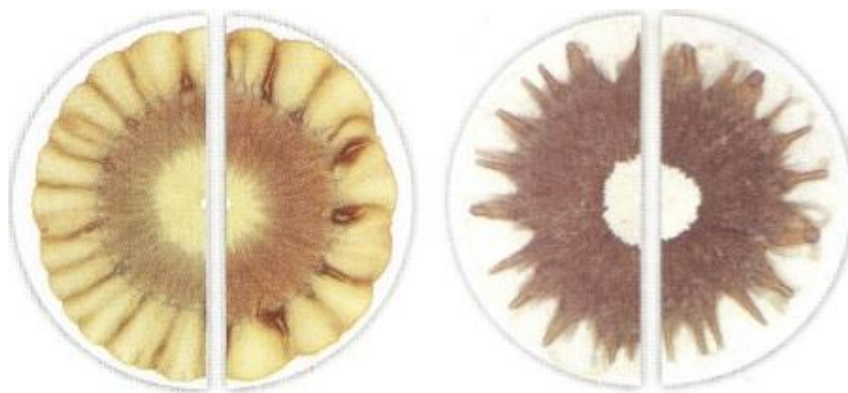


Figura 3. Abonos de mala calidad elaborados a partir de pollinaza y adulterados con fertilizante químico a base de urea. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

Finalmente, una coloración blanco cremosa que se desvanece para integrarse con la siguiente zona es evidencia de un suelo no compactado, buena cantidad de materia orgánica y sobresaliente actividad microbiológica y enzimática (figura 1).

Zona interna (zona mineral): Llamado así porque acá se concentra la mayoría de reacciones con los minerales, es la zona donde quedan expuestas las sustancias más pesadas que han reaccionado con el nitrato de plata.

El color pardo o negruzco en esta zona no es deseable demuestra un suelo destruido probablemente muy mineralizado, erosionados, sin actividad biológica, ausencia de materia orgánica. Pueden ser usuales en suelos con textura arcillosa o franco arenosa. Lo no deseable incluye además un color no diferenciable con la zona central y muy grande en relación con las demás zonas, color oscuro o también color violeta (figura 4).

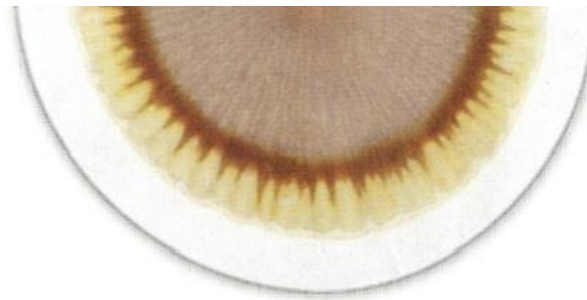


Figura 4. No se distingue zona central de la mineral. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

Zona intermedia (proteica o de la materia orgánica): Acá se expresa la ausencia o presencia de la materia orgánica pero la presencia de materia orgánica no quiere decir que necesariamente esté integrada al suelo, ni biológicamente activa en él. Según el ejemplo vemos que la zona de la materia orgánica se encuentra sin ninguna interacción con la zona interna (figura 5).

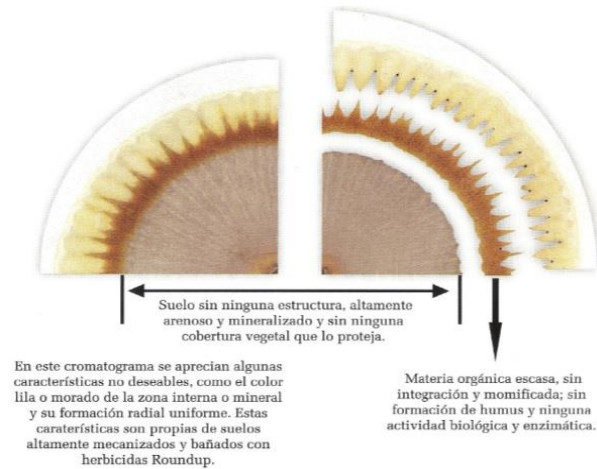


Figura 5. Ejemplo de croma de suelo con materia orgánica escaso. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

Zona externa (enzimática o nutricional): Las diferentes “nubecillas” formadas en ésta zona indican abundancia y variedad nutricional, lo que viene a ser los factores enzimáticos que tienen que ver con la formación de vitaminas, hormonas y otros complejos orgánicos pero que deben ser descritas por procesos más específicos en un laboratorio. Detallar la figura 6 para reconocer las formas ideales de zona externa dentro del croma.

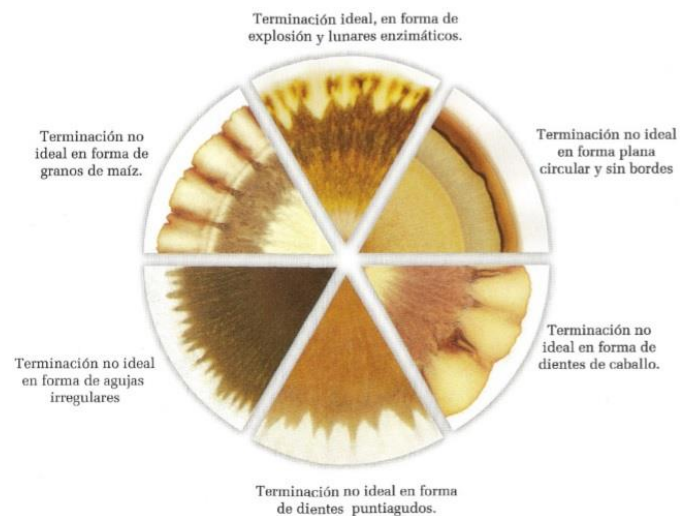


Figura 6. Diferentes formas de la zona externa. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

A través de la explicación de cada una de las zonas del cromatograma se da una serie de características ideales que deben ser tenidas en cuenta en el momento de interpretación, algunos de estos aspectos son resumidos en las siguientes imágenes: (figura 7, 8 y 9).



Figura 7. Patrón de colores para análisis cromatográfico. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

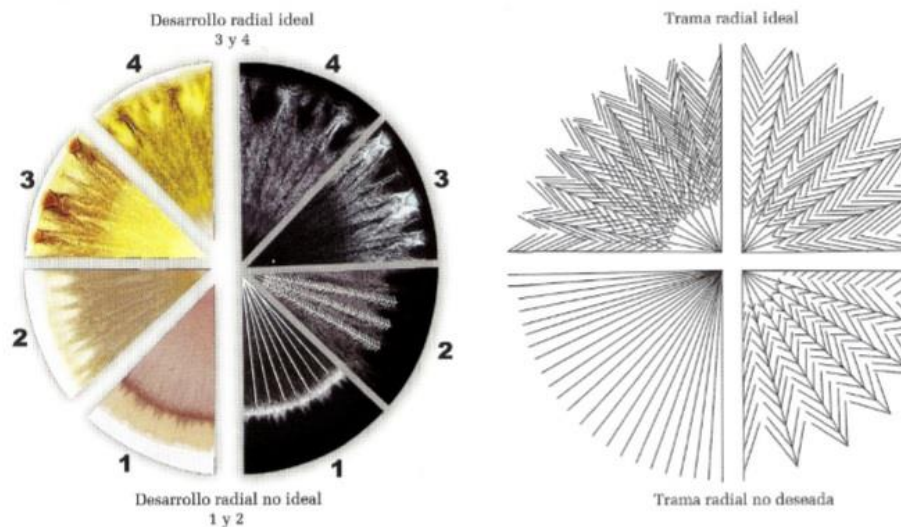


Figura 8. Desarrollo radial y de trama ideal. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

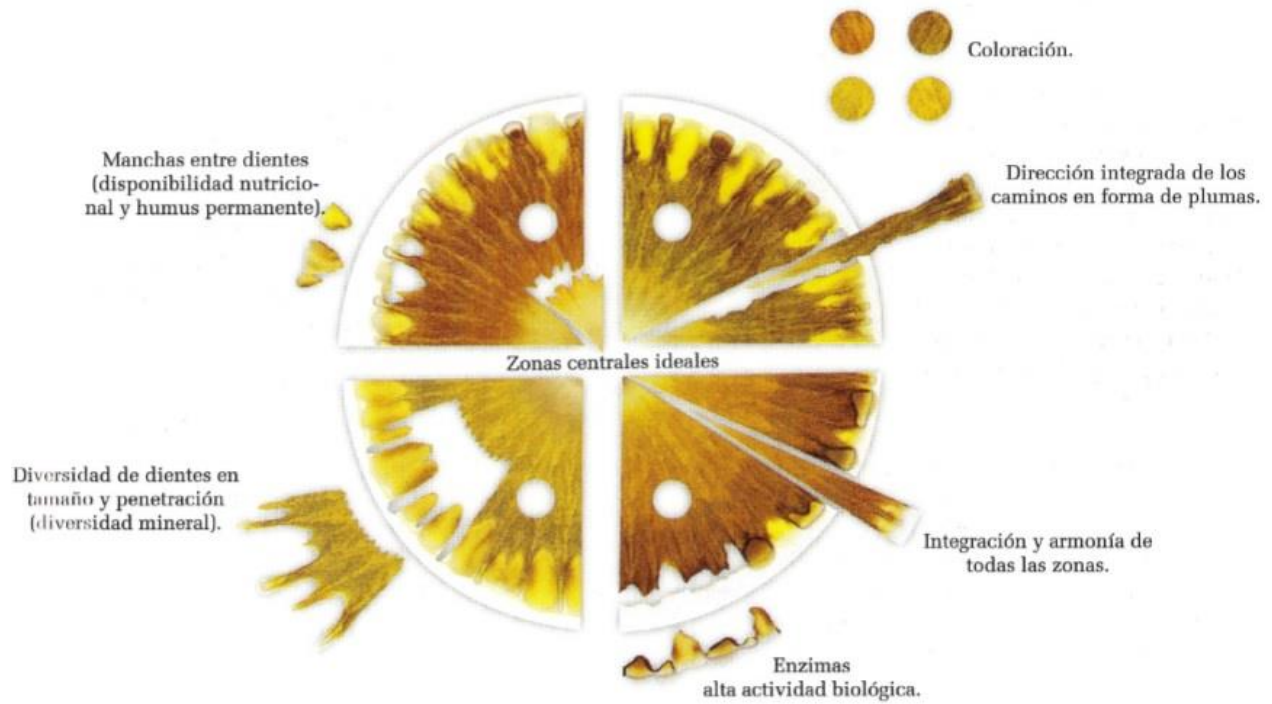


Figura 9. Características ideales de un cromatograma. Fuente: Restrepo & Pinheiro, 2011.

Básicamente, la intensidad del color de los cromatogramas es dependiente de la cantidad de componentes orgánicos extraídos en el extracto de hidróxido de sodio (Hassold, 2003).

Pfeiffer (1984) en su libro sobre cromatografía, publica una serie de banco de imágenes que ilustra cuáles son los patrones que surgen a través de los diferentes estudios de suelo y otras sustancias, algunos ejemplos explicados por el mismo Pfeiffer son:



Figura 10: Suelo muy fértil. Fuente: Pfeiffer, 1984.

La figura 10 corresponde a un cromograma de suelo fértil y poco cultivado, aluvial, con alto contenido de materia orgánica y alto contenido de nitrógeno.

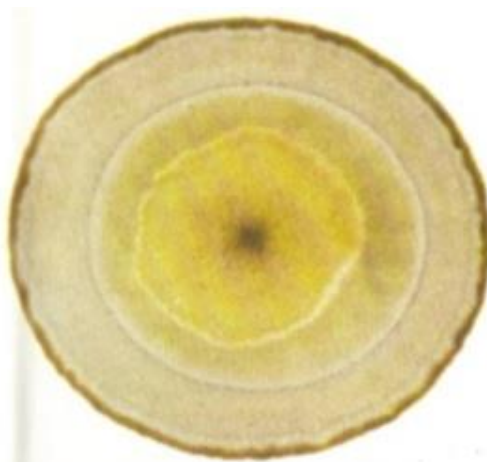


Figura 11: Cromatograma de ácido ascórbico. Fuente: Pfeiffer, 1984.

La figura 11 es un cromatograma hecho de ácido ascórbico químicamente puro, se puede observar una zona muy pequeña de color marrón al borde, una zona ondulada en el anillo interno, dos correas

anchas de la zona media, que muestra los tres tonos claros de gris-violeta, y una zona interior de color amarillo-marrón grande.



Figura 12. Vitamina C derivada de Rosa Mosqueta. Fuente: Pfeiffer, 1984.

La figura 12 es una preparación de vitamina C derivada de la rosa mosqueta, el fabricante se encargó en preservar la calidad "natural" y no purificar el producto al punto en el que podría ser llamado "químicamente puro". Este patrón es bastante diferente de la químicamente pura, que muestra más ondulación y picos de formación, así como la radiación de la zona de interior. La zona central muestra un fuerte color marrón; la zona interior contiene un color amarillo-marrón.

Es bastante obvio que este producto natural contiene "algo" que el ácido ascórbico químico puro no mostró. Este "algo" se compone de "impurezas", en una manera de hablar, pero son de ninguna manera biológicamente sin valor. Por ejemplo, que las formas naturales de complejo de vitamina E pierden hasta un 99% de su potencia cuando se separa de su sinergia. De hecho, las "impurezas" tienen una importancia biológica-dinámica, dicho saber se ha aprendido a reconocer, por muchos cromatogramas comparativos de sustratos, las formas onduladas y radiantes, así como las

coloraciones intensas como un signo de actividad biológica, es decir, de los valores intrínsecos (Pfeiffer, 1984).

En la etapa actual de nuestro conocimiento, no es posible identificar "químicamente" la naturaleza de estas sustancias concomitantes, es decir, las sustancias de la química o biológica del ambiente. Sabemos, sin embargo, que la misma ondulación y la radiación, aunque con diferentes colores, se producen en los estudios enzimáticos y con extractos de semilla viva (Pfeiffer, 1984).

El trabajo específico de Hassold (2003) sobre los sustratos resultantes de procesos de compostaje, fueron analizados a través de éste tipo de cromatografía, encontrando conclusiones pertinentes como:

- Una distribución específica de los colores en la zona interna, demuestra la capacidad de auto-calentamiento de compost. Los tonos grises (blanco, gris claro, gris) suelen aparecer tanto en compost con actividades microbianas fuertes como en débiles; también se muestran colores marrones (desde el café hasta el amarillo claro), en compost terminados como también en compost frescos con actividad microbiana alta. Por el contrario, aparecerá un tono rosa violeta en compost con una auto-calefacción $>60^{\circ}\text{C}$.

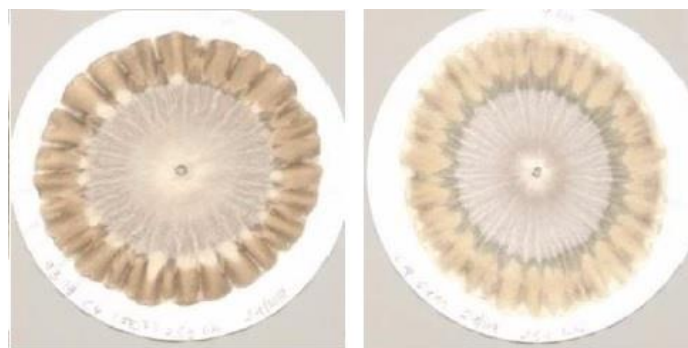


Figura 13: Zona interna en tonos grises. Fuente: (Hassold, 2003).

- Tonos del rosa-violeta en la zona interior son una indicación de fuertes valores de la actividad microbiana y $\text{pH} < 7$.

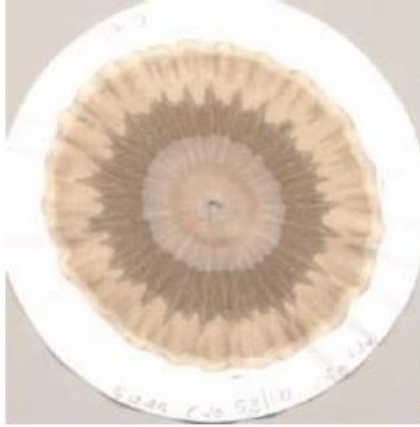


Figura 14: Zona interna en tonos rosa-violeta. Fuente: (Hassold, 2003).

- Anchura de las zonas: Transiciones amplias entre la zona interior y la media, coinciden con muestras de compost de alta actividad microbiana, valores de pH de < 7 y un alto contenido de amonio.

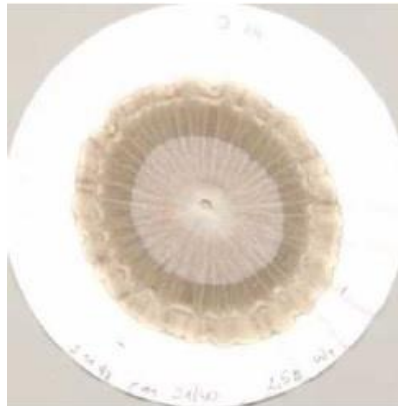


Figura 15: Transición zona interior y media. Fuente: (Hassold, 2003).

- Tonos grises y marrones en la zona interna son altamente significativos para los niveles de amonio (menos de 1000 mg/ kg-1).

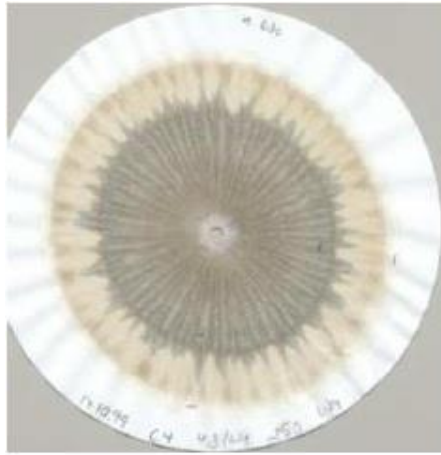


Figura 16: Zona interna, niveles de amonio. Fuente: (Hassold, 2003)

- En cuanto a la cantidad de nubes y color en la punta de los cromas, se muestra estadísticamente significativo en los compost con relativamente alto nivel húmico (> 250 mg/ g-1), como por ejemplo la figura 17. Tal formación intensa de nubes no es obvio debido únicamente a las sustancias húmicas, ya que también están en cromatogramas de compost con menos sustancias húmicas. Aquí sin embargo, el color estadísticamente significativamente más ligero de nubes es de color marrón.



Figura 17: Nubes. Fuente: (Hassold, 2003)

- Un color de demarcación clara en el borde del cromatograma, describe el compost con muy poca cantidad de amonio.



Figura 18: Color en el borde del cromatograma. Fuente: (Hassold, 2003)

- El cromatograma no muestra evidencia sobre el contenido nutricional (potasio, magnesio, fosfato) en compost.
- Un importante oscurecimiento de los colores durante el tiempo de compostaje, de lo observado en algunos compost especialmente en la zona exterior, es un signo de una acumulación de ácidos húmicos por el estancamiento del proceso de compostaje.



Figura 19: Oscurecimiento en el borde del croma. Fuente: (Hassold, 2003)

- El desplazamiento de los tamaños de las zonas, que puede ser observado en particular en el área de la zona interior, como también la zona central, es debido a los cambios cuantitativos de ácidos húmicos de acumulación, por reacciones de polimerización o despolimerización.
- Desde el diseño de los cromatogramas se pueden sacar conclusiones significativas acerca de la calidad del proceso de compostaje. Aunque no hay una correlación directa con la degradación cuantitativa de la materia orgánica, se puede dar sobre características

cualitativas en cuanto a la evaluación del grado de polimerización de las sustancias húmicas.

- La cromatografía de suelos muestra una alta reproducibilidad de las correspondientes características del suelo y requiere en comparación con muchos métodos analíticos una pequeña cantidad de equipo técnico. Los resultados están dentro de 36 horas después de analizar la prueba.

3.2.5. ¿En qué suelos se puede hacer cromatografía?

El proceso de cromatografía de suelos aparece reportado para una diversidad de suelos amplia, variando en estructura, textura o el tipo de cultivo desarrollado en el mismo. Por ejemplo, respecto a los diferentes perfiles de suelo, se recomienda hacer una calicata y tomar muestras de los tres horizontes del suelo (O, A, B y C) y así observar cómo evoluciona el perfil de suelo que se estudia con la cromatografía con el paso del tiempo (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Restrepo y Pinheiro (2011) reportan análisis en suelos cultivados de manera orgánica de arroz, caña, cebolla, banano, cacao, rosas, lechuga, mango, maíz, nopal, olivos, papa, pasto de corte, papaya, uva, patilla y así para suelos de los mismos productos cultivados de manera convencional.

3.3. ¿Qué marca la diferencia de la cromatografía frente al análisis de suelo convencional?

Uno de los contrastes fundamentales que marca la diferencia entre la cromatografía y el análisis de suelo convencional, es el carácter cualitativo de la forma de resultados de la cromatografía (ver explicación de todo el numeral 3.1.), contrario al enfoque cuantitativo de los resultados entregados

por el análisis convencional. De ésta forma la cromatografía requiere interpretar formas, colores, intensidad, mientras que el análisis de suelo demanda el conocimiento de terminología como por ejemplo: partes por millón (ppm), miliequivalentes (me), porcentajes, decisiemens por metro (dS/M) (IGAC, 1997).

La segunda diferencia marcada se refiere a que el análisis de suelo convencional, que generalmente se desarrolla en un laboratorio, no incluye un análisis biológico del mismo. Si se solicita un análisis biológico, este es considerado un análisis extra, que incluye un costo mayor y puede ser análisis microbiológico por grupo de microorganismos (biodiversidad e índice de Shanon), o un conteo total de esporas de micorrizas o un porcentaje de infección de raíces con micorrizas (UNAL, 2012). En cambio dentro del cromatograma podemos ver por ejemplo, la presencia de materia orgánica y reconocer si está integrada al suelo o biológicamente activa en él.

3.3.1. Características del suelo que se pueden evaluar según cada método de análisis.

Las características de suelo que son evaluadas en un análisis convencional pueden variar de acuerdo a las necesidades del interesado, de este modo algunos laboratorios ofrecen posibilidades como análisis de fertilidad, de elementos menores, de salinidad, específicos para floricultores, aguacateros, bananeros, caficultores pero en líneas generales podemos encontrar en ellos las siguientes determinaciones (UNAL, 2012):

- Textura de suelo.
- Acidez y alcalinidad (pH).
- Conductividad eléctrica o contenido de sales y determinación de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Cloro (Cl), Sulfatos (SO₄).

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Materia orgánica.
- Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K).
- Elementos menores: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Boro (B).
- Relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca/K.

Las características del suelo que pueden ser evaluadas a través del método de cromatografía: (Ver cada una de las zonas detalladas con imágenes en el numeral 3.1.), bajo la interpretación de Restrepo y Pinheiro (2011) es:

- *Zona central (zona de aireación u oxigenación)*: Suelos compactados raramente tendrán esta zona. Esta zona puede existir o no. Si existe, esta zona puede ser de color blanco o crema; si no existe, se observan coloraciones oscuras: marrón oscuro, negro, ceniza, gris, azul, lila o azulados.

La no existencia de esta zona significa maltrato o destrucción del suelo debido al uso de maquinaria pesada, por suelen ser suelos fuertemente compactados, aplicación de productos químicos. Si el color de la zona central es blanco, revela suelos con dosis excesivas de abonos nitrogenados y abonos químicos altamente solubles, o sometido a la constante aplicación de herbicidas o fertilizantes químicos. También puede ser blanco al haber abonos orgánicos procesados con estiércoles muy ricos en nitrógeno, pero crudos, mal procesados o adulterados con urea.

Si el color es crema o blanco cremoso, que se desvanece suavemente integrándose a las próximas zonas (mineral, orgánica y enzimática), es indicador de un buen suelo, no compactado, de buena estructura, con abundante materia orgánica activa, y adecuada actividad microbiológica y enzimática.

- *Zona interna mineral:* En esta zona es donde se concentra la mayoría de reacciones minerales, tiene que ver con el desplazamiento y reacción del nitrato de plata con los minerales, y es donde se encuentran también las sustancias más pesadas. Si esta zona posee un color negruzco, refleja un suelo destruido y altamente mineralizado, compactado y posiblemente erosionado por la mecanización, sin estructura ni actividad biológica. Por el contrario, en un cromograma con la zona central de color cremoso, se suele observar una integración con la zona interna.
- *Zona intermedia (proteica o de la materia orgánica):* Aquí se expresa la ausencia o presencia de la materia orgánica pero la presencia de materia orgánica no quiere decir que necesariamente esté integrada al suelo ni biológicamente activa en él.
- *Zona externa o enzimática y nutricional:* Si esta zona se manifiesta de forma gradual y armónica, con nubecillas o lunares tenues, significa que es un suelo sano. Las diferentes “nubecillas” formadas en ésta zona indican abundancia y variedad nutricional, lo que viene a ser los factores enzimáticos que tienen que ver con la formación de vitaminas, hormonas y otros complejos orgánicos.

3.3.2. Características que no se pueden evaluar en la cromatografía.

Teniendo en cuenta la información consolidada tanto del análisis convencional como de la cromatografía, con base en los autores: Jaramillo (2002), Restrepo & Pinheiro 2011, Labrador (2008), (Navarro, Figueroa, Martínez, González, & Salvador (2007), García, Ramírez y Sánchez (2012), IGAC (2016), INPOFOS (1997), Múnera, (2012), Gisbert, Ibáñez, & Moreno (2010) entre

otros también relevantes, hallados en la primera parte de éste trabajo, se destacan las siguientes características que no pueden ser evaluadas en una cromatografía de suelos:

- Las características descritas en la cromatografía no aparecen con rangos cuantitativos específicos (kilogramos, porcentaje, partes por millón), tampoco se describe el nombre específico de algún mineral en la zona interna, o el nombre de alguna vitamina, hormona o algún otro complejo orgánico que se revela en la zona enzimática o nutricional, éste análisis específico debe ser realizado en un laboratorio convencional.
- No hay cálculo del pH de la muestra.
- No hay una descripción precisa de macronutrientes o micronutrientes como tampoco de capacidad de intercambio catiónico, porcentajes de saturación ni relación de cationes.

3.3.3. Interpretación los resultados del análisis convencional y de la cromatografía.

Para interpretar los resultados de un análisis convencional de suelo se pueden tener en cuenta las consideraciones generales que ofrece el laboratorio de suelos del IGAC (1997) (Ver figura 20), por ejemplo:

- La medida de fósforo por la metodología BRAY II con un resultado menor que 15 ppm muestra un suelo con nivel bajo de fósforo y mayor a 30 ppm evidencia un nivel alto.
- El porcentaje de materia orgánica para clima frío es de nivel bajo si obtiene un 5%, diferente es para un clima cálido el cual es de nivel bajo a partir de un 2%.

- El porcentaje de nitrógeno total en clima frío es de nivel bajo si se encuentra por debajo de los 0.25%, diferente es para un clima cálido el cual es de nivel bajo a partir de 0.1%.
- Una relación ideal entre Ca/Mg se encuentra entre 2 y 4 y una mayor de 10 es ya deficiente para magnesio.
- Referente a sales y sodio, si hay una conductividad eléctrica de 8 a 16 dS/m y un porcentaje de sodio intercambiable menor a 15% se tiene un nivel de salinidad media.



INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS DE SUELOS

		P	K	%M.O			%N.Total			CIC	SATURACIÓN DE
pH (H ₂ O)	APRECIACIÓN	ppm		CLIMA			CLIMA				BASES (SB)
1:1		(BRAY II)	meq/100g	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	meq/100g	%
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<5	<3	<2	<0.25	<0.15	<0.1	<10	<35
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	5 - 10	3 - 5	2 - 4	0.25 - 0.5	0.15 - 0.3	0.1 - 0.2	10 - 20	35 - 50
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>10	>5	>4	>0.5	>0.3	>0.2	>20	>50
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO			S.A.I % (SATURACIÓN DE ALUMINIO)	APRECIACIÓN	
5.1 - 5.5		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CON SALES Y SODIO					
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	ce mmols/cm (dS/m)	PSI	CLASE		SIN PROBLEMAS EN GENERAL	
5.6 - 6.0									<15	LIMITANTE PARA	
MEDIANAMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2		NORMAL		CULTIVOS SUSCEPTIBLES	
6.1 - 6.5									2 - 4	INFERIOR	LÍMITE
LIGERAMENTE ACIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			4 - 8	A	S1	15 A 30	CULTIVOS MODERADAMENTE	
6.6 - 7.3										8 - 16	15%
NEUTRO	CONTENIDO OPTIMO	ELEMENTOS MENORES* (ppm)				>16		S3		LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES	
7.4 - 7.8		Zn	Cu	Mn	Fe						
LIGERAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8	SUPERIOR	NaS1			
7.9 - 8.4											
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	15%	NaS3	>60	PARA LA MAYORIA	
8.5 - 9.0										DE CULTIVOS	
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.							INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI			
>9.0	Boro en suelos (extractable en agua caliente): 0.6 - 1.0 ppm.							LABORATORIO DE SUELOS			
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 ppm.							AREA DE QUÍMICA			

NC(Nivel Crítico): 25 ppm NO₃; 20 ppm NH₄; NC: 0.2 ppm B(Fosfato de Calcio); NC: 12 ppm P (Olsen modificado); NC: 20 ppm S disponible (Fosfato de calcio)

CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):

N (%): 2,5-4,5; P (%): 0,2-0,75; K (%): 1,5-5,5; Ca (%): 1,0-4,0; Mg (%): 0,25-1,0; S (%): 0,25-1,0

B (ppm): 10-200; Cu (ppm): 5-30; Fe (ppm): 100-500; Mn (ppm): 20-300; Zn (ppm): 27-100; Mo(ppm): 0.1-0.2; Cl (ppm): 100-500

Figura 20. Consideraciones generales para interpretar análisis de suelo. Fuente: Barrera, Melgarejo y Cruz, 2010.

Teniendo en cuenta la información consolidada tanto del análisis convencional como de la cromatografía, con base en los autores: Jaramillo (2002), Restrepo & Pinheiro 2011, Labrador (2008), (Navarro, Figueroa, Martínez, González, & Salvador (2007), García, Ramírez y Sánchez (2012), IGAC (2016), INPOFOS (1997), Múnera, (2012), Gisbert, Ibáñez, & Moreno (2010) entre

otros, también relevantes, hallados en la primera parte de éste trabajo, se presenta la siguiente tabla descriptiva de contraste entre análisis convencional y cromatografía de suelos.

Tabla 1. Relación del tipo de análisis de acuerdo con sus propiedades.

<div>Tipo de análisis</div> <div>Propiedad</div>	ANÁLISIS CONVENCIONAL	CROMATOGRAFÍA
FÍSICA:	<p><i>Textura:</i> Indica la granulometría presente en el suelo. Determinado por el método de bouyoucos.</p>	<p><i>Zona de aireación:</i> suelos compactados o con su estructura impactada, raramente tendrán esta zona.</p>
QUÍMICA:	<p><i>PH:</i> Determinado por el método de potenciometría.</p> <p><i>Macronutrientes:</i> Determinados numerosas veces en porcentaje ya que tienen mayor presencia en el suelo que los micronutrientes.</p> <p><i>Micronutrientes:</i> Determinados en ppm o en meq/100g, debido a que su disponibilidad y requerimiento por las plantas es menor que los macronutrientes.</p> <p><i>Capacidad de Intercambio Catiónico:</i> Determinado en meq/100g</p> <p><i>Porcentajes de saturación:</i> Incluye porcentaje de saturación de aluminio y saturación de bases.</p>	<p><i>Zona central:</i> Si el color de la zona es blanco, revela suelos con dosis excesivas de abonos nitrogenados y abonos químicos altamente solubles.</p> <p><i>Zona interna:</i> Se evidencia reacciones de los minerales. No hay una determinación específica de cada uno de ellos.</p> <p>Si existe un color muy oscuro no diferenciable de la zona central es problemático, indicando alta mineralización.</p>

BIOLÓGICA:	<p><i>Materia Orgánica:</i> Calculada en porcentaje por el método de Walkley Black.</p> <p><i>Carbono orgánico:</i> Calculado en porcentaje. Lo que se libera de los procesos dinámicos de la materia orgánica.</p> <p><i>Relación C/N:</i> Calculada en porcentaje.</p>	<p><i>Zona central:</i> Si el color es crema o blanco cremoso, que se desvanece suavemente integrándose a las próximas zonas es síntoma de abundante materia orgánica, activa, y adecuada actividad microbiológica y enzimática.</p> <p><i>Zona interna:</i> Según gama de colores revelara buena o mala interacción biológica del mundo mineral con el biológico.</p> <p><i>Zona intermedia:</i> proteica o de materia orgánica. Se puede determinar si esta activa o no biológicamente y que tan integrada esta con el resto de zonas del cromograma.</p> <p><i>Zona externa:</i> Evidencia las reservas nutricionales y la ausencia o no de humus en el suelo.</p>
-------------------	--	---

3.3.4. Diagnóstico del manejo del suelo a partir de resultados en cromatografía.

Basados en el principio general de la cromatografía como una evaluación cualitativa, es de entender que no se obtendrá un diagnóstico y recomendación específico en cantidad o unidades de medida (% , ppm, meq/g) a diferencia, el análisis convencional que sugiere aplicaciones específicas para el manejo del suelo con respecto a los requerimientos concretos del cultivo.

El mayor avance hecho a la temática de cromatografía, lo aportan quienes avalan las técnicas fuera de las convencionales como son las técnicas orgánicas, agroecológicas, incluso las de retorno a lo tradicional, es por esto que, muchos de estos diagnósticos cromatográficos, coincidirán con lo expuesto por estas corrientes, una de ellas se sustenta en prácticas, por ejemplo, de manejo y conservación de suelos, según la FAO (1997), algunas de ellas son:

- Uso de maquinaria pesada para un mínimo de las labores durante el tiempo del cultivo.
- Siembra en contorno o curvas de nivel.
- Barreras físicas transversales a la pendiente y encauzamiento de la esorrentía.

Específicamente para las labores que tienen que ver con la actividad biológica del suelo se pueden diagnosticar (FAO, 2000):

- Los cultivos de cobertura protegen la superficie del suelo y así la materia orgánica crea condiciones para la actividad y desarrollo de microorganismos. La cobertura también permite una temperatura de suelo constante que mantiene el desarrollo microbiano también constante. Se reportan casos de labranza mínima o cero en los cuales ha mayor incidencia de rizobios así la nodulación y por ende la fijación del nitrógeno.
- Un nivel mínimo o moderado del uso de maquinaria permite la proliferación de las lombrices las cuales acuden a la superficie del suelo creando cavidades que permiten la oxigenación y drenaje de agua para la zona radical de las plantas.

Otras prácticas muy usadas para aportar fertilidad en un sistema orgánico según Céspedes (2005) son:

- Elaboración de compost, el cual es el resultante de la fermentación aeróbica de una mezcla de materias primas orgánicas con unas condiciones de humedad y temperatura puntuales; su contenido contribuye a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo donde es aplicado.
- Los residuos de cosecha, poda o rastrojo: después de la cosecha todos estos restos pueden ser triturados e incorporados al suelo y con ello aumentando la actividad microbiológica como la estructura del suelo y así la disponibilidad de nutrientes, se deben tener precauciones ya que el exceso de rastrojo puede causar problemas como hambre de nitrógeno o inmovilización neta de nitrógeno.
- Abonos verdes: cultivo de plantas como productoras de biomasa que se usan como abono verde en la superficie del cultivo o entre hileras, suelen usarse para éstas labores leguminosas o gramíneas. Algunos de sus beneficios son: aporte de nutrientes a los microorganismos del suelo, aporte de cantidades de nitrógeno, mejorar la estructura del suelo, evitan la erosión del suelo, controlan malezas y evitan lixiviación de nutrientes disponibles.
- Rotación de cultivos: Se crea un cronograma en el cual, hay una sucesión regular de diferentes cultivos en el mismo terreno. Se ha demostrado que no hay un desgaste constante de los mismos nutrientes del suelo y así una mejor disponibilidad de los mismos, junto a un mejoramiento en la estructura del suelo, reduciendo también la incidencia de plagas, enfermedades y malezas. Algunos criterios a tenerse en cuenta deben ser el elegir cultivos con diferentes sistemas radiculares, incluir leguminosas para el aporte de nitrógeno, separar en tiempo los cultivos que presentan susceptibilidad en las mismas enfermedades.

- Uso de suplementos nutricionales, fertilizantes orgánicos foliares, aplicación de lombricompost, vermicompost, estiércoles o purines entre otros.

3.3.5. La cromatografía como complemento al análisis convencional de suelos.

La cromatografía como herramienta cualitativa, puede resultar un importante apoyo para los análisis químicos convencionales ya que a través de ella se puede comprobar el grado de actividad y calidad biológica en que encuentra la muestra de análisis (Restrepo & Pinheiro, 2011).

Es importante resaltar que, estudios realizados en diversas clases de suelo, en donde los análisis químicos convencionales no arrojaban diferencias significativas entre los mismos, (es decir niveles de macro y micro nutrientes muy similares, igual que los niveles de materia orgánica), se apreciaba que no todos tenían una calidad semejante según los cultivos que los representaban; entonces, sólo a través de la cromatografía de estas mismas muestras, se hizo evidente que la diferencia radicaba en el bajo grado de actividad biológica de algunas de ellas (Pfeiffer, 1984).

El análisis por medio de cromatografía tarda de 1 a 3 días en elaboración, es gracias a éste factor que puede tenerse como herramienta de uso intercalado junto al análisis de suelo, por ejemplo algunos autores recomiendan realizar análisis convencional cada 2 años (Osorio, s.f); el uso de la cromatografía podría realizarse cada seis meses y de esta forma tener actualizada la evaluación de los suelos.

3.4. Otros factores a considerar.

3.4.1. Condiciones socio-económicas entre otras para llevar a cabo una cromatografía.

Implementar la metodología de cromatografía de suelos requiere contar con algunos materiales y reactivos, los cuales representan una inversión mucho mayor con respecto a un análisis convencional, si se compara con una única sesión de cromas; sin embargo, si el interesado hace la inversión en compra de materiales, la cromatografía entrega resultados mucho más rápido que un análisis de suelo convencional (entre 1 y 3 días), y a largo plazo, será más económico hacer un estudio frecuente con cromatografía que un análisis convencional, es esta la razón para considerar que puede ser una herramienta de uso frecuente, sin ser estos argumentos razones para descartar el uso del análisis convencional (Hassold, 2003).

Basado en una cotización directa con algunos almacenes proveedores de los principales materiales y reactivos para realizar un cromatograma (mayo de 2017, en Bogotá), se puede decir que, la mayor inversión se hace en los papeles filtro que puede tener un costo de \$100.000 COP cada una de las cajas que vienen con 100 de ellos y el nitrato de plata de 100g puede costar \$300.000 COP. Si el gasto es 0.5g de nitrato que alcanzan a impregnar 60 filtros, podemos ver que a la larga es una inversión de más o menos \$1.500 COP por cromatograma.

Para realizar el análisis cromatográfico aparece reportado como condicionamiento agroclimatológico: la humedad, así que cuando ésta sea muy baja se debe improvisar una cámara húmeda para el lugar donde se están corriendo las muestras (Restrepo & Pinheiro, 2011), aparte de la humedad no existen más condicionamientos reportados, ya que existen ejemplos de análisis hechos en diferentes altitudes. Las muestras de suelo evaluadas bajo cromatografía solo requieren

estar debidamente secas, estas también pueden ser realizadas en terrenos con diferentes tipos de texturas y diferentes horizontes (para profundizar, ver numeral 3.1).

Es razón de elaboración de este trabajo de monografía el dar a conocer entre los agricultores y propios colegas agrónomos la metodología de cromatografía para el aprovechamiento de la misma, es el desconocimiento un condicionamiento cultural el cual no permite que los agricultores tengan acceso adecuado a la formación y cercanía con el mundo académico que se fortalece cada vez más en propuestas para el desarrollo rural.

3.4.2. ¿En qué cultivos y estados fenológicos de los mismos puede ser hecho el cromatograma?

Restrepo y Pinheiro (2011) reportan análisis cromatográficos en suelos cultivados de manera orgánica con: arroz, caña, cebolla, banano, cacao, rosas, lechuga, mango, maíz, nopal, olivos, papa, pasto de corte, papaya, uva, patilla y también para suelos de los mismos productos cultivados de manera convencional.

Después de presentada la tabla descriptiva de contraste (ver tabla 1) se prevé que el análisis de suelo convencional debe ser realizado previo al establecimiento del cultivo, ya que la cromatografía no entrega un análisis cuantitativo de los requerimientos del cultivo con base en los elementos presentes disponibles por el suelo en ese momento.

El análisis por medio de cromatografía tarda de 1 a 3 días en elaboración, es gracias a éste factor que puede tenerse como herramienta de uso intercalado junto al análisis de suelo, por ejemplo algunos autores recomiendan realizar análisis convencional cada 2 años (Osorio, s.f), el uso de la cromatografía podría realizarse cada seis meses y así tener actualizada la evaluación de los suelos.

3.4.3. Experiencias de uso de la metodología en diferentes sistemas productivos.

Existen reportadas diferentes prácticas tanto en investigación como experimentales, algunas de ellas son:

- “Compost altoandino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de suelos”, este estudio expresa en una de sus conclusiones que “la técnica de cromatografía coadyuva en el seguimiento y evaluación del proceso de biorremediación, al reflejar cualitativamente la actividad enzimática de los microorganismos, tomándose las medidas correctivas oportunas para lograr la biorrecuperación completa” (Chilón & Chilón, 2014, p. 36).
- Trabajo práctico de “Comparación del análisis químico convencional de suelos con la técnica de cromatografía para agricultura orgánica en transición”, en él se resaltan aspectos como el bajo costo en el tiempo que resulta al realizar cromatografía y también que ésta es ciertamente un reflejo de aspectos del suelo contrastando con el resultado de los análisis convencionales. Se llegó a estas conclusiones en un trabajo práctico a lo largo de un año, distribuido en 13 municipios del Salvador con un total de 28 productores (Muñoz S. , 2011).
- Gordillo y Chavéz (2011) realizaron una evaluación comparativa de la calidad de compost de desechos agroindustriales azucareros, y en su análisis determinaron diferentes niveles de materia orgánica gracias a la cromatografía.

- En el trabajo de Abad (2014) “Evaluación cualitativa mediante cromatografía, de la fertilidad de cinco suelos con diferentes manejos orgánicos y convencionales”, se sugiere que la cromatografía en papel de extractos de suelos podría ser una herramienta de diagnóstico rápido, efectivo y que evalúa elementos que los análisis convencionales no consideran. Su fácil manejo y costo permite ser realizada por campesinos, técnicos, estudiantes o cualquier persona con entrenamiento mínimo.
- “Análisis de un sistema de cromatografía de campo para evaluación de calidad de suelos y compost en empresas asociadas a ECOFAS” (Heredia , 2012), en éste trabajo se hace análisis a empresas de cultivadores de flores orgánicas, en donde la cromatografía ayuda a contrastar los diferentes resultados químicos convencionales.
- “Un enfoque cromatográfico para el diagnóstico de la calidad del humus y algunas implicaciones para la gestión forestal” (Laird, 1984), es un trabajo en donde se concluye que el cromatograma permite establecer una red de inferencias sobre la naturaleza del humus forestal. Aunque no es predictivo cuantitativamente, el cromatograma refleja de una manera consistente, las propiedades del humus derivadas de los análisis químicos. Apoya la clasificación de las formas del humus y puede proporcionar un método de la discriminación cuando las características morfológicas no son concluyentes según lo encontrado en cortes claros u otros sitios disturbados. El potencial para monitorear los cambios como resultado de las prácticas de manejo se considera particularmente interesante. El método puede proporcionar al gestor de campo una herramienta de interpretación práctica y al alumno de la dinámica del humus con un interesante puente entre los resultados de la química analítica y la observación de campo del humus in situ.

- En “estudiando la importancia de la materia orgánica del suelo: una propuesta educativa para educación secundaria” (Zuazogoitia & Villaroel, 2015), como lo expone su nombre se revela la cromatografía como una importante herramienta didáctica para estudiantes de secundaria.

- “Uso de cromatogramas en el análisis de composta tipo bocashi y comparación con dos suelos” (Saavedra , Figueroa, Gómez, & Herrera, 2013), concluye que el cromatograma es una herramienta muy efectiva y práctica, para conocer el desarrollo y condición que guardan compostas y suelos.

5. CONCLUSIONES.

- El aporte de la cromatografía representa una ayuda en la medida que, logra comprobar el grado de actividad y calidad biológica en que encuentra la muestra de análisis, mostrando una evaluación integral del suelo respecto a la interacción de los aspectos minerales, orgánicos y enzimáticos del suelo.
- La cromatografía arroja resultados cualitativos y ello puede representar una ayuda didáctica para agricultores y un puente para hacer notar la importancia del análisis convencional.
- La cromatografía puede llegar a ser una herramienta didáctica para niños y jóvenes en los colegios.
- La cromatografía es una herramienta económica.
- Existen características específicas que no pueden ser evaluadas por la cromatografía, sumado al hecho de la forma diferencial de resultados en comparación con el análisis convencional, por estas razones, no se recomienda hacer un uso exclusivo de cualquiera de los dos métodos, sino que funcionen de apoyo entre ambos.
- Los trabajos académicos encontrados revelan que, la cromatografía es un importante apoyo para los análisis de suelo convencionales y también para otros sustratos como compostajes.

6. REFERENCIAS:

- Abad, F. (2014). *Evaluación cualitativa mediante cromatografía, de la fertilidad de cinco suelos con diferentes manejos orgánicos y convencionales*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Astier, M., Maass, M., & Etchevers, J. (2002). Derivación de los indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36(5), 605-620.
- Barrera, J., Cruz, M., & Melgarejo, L. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Barrera, J., Melgarejo, L., & Cruz, M. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal*. Bogotá: Charlies Impresores.
- Biografías y vidas*. (2004 - 2016). Obtenido de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/synge.htm>
- Céspedes, C. (2005). *Agricultura Orgánica. Principios y prácticas de producción*. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Chilón, E., & Chilón, J. (2014). *Compost altoandino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de suelos*. La Paz, Bolivia: La Ciencia Agro.
- Claros, G. (2011). ¿Quién lo usó por primera vez? Cromatografía. *Panacea*®, N° 33 Entremeses. Obtenido de: <http://www.medtrad.org/panacea/IndiceGeneral/n33-Entremeses-Diaz.pdf>.
- Darzau. (04 de 27 de 2006). Obtenido de Getreidezüchtungsforschung: <http://www.darzau.de/projekte/gerste/>
- Eyherabide, M., Sainz, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. (2014). *Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo*. Buenos Aires: Cienc. suelo vol.32 no.1 .
- FAO. (1997). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Ibadan, Nigeria: Boletín de tierras y aguas de la FAO.
- FAO. (2000). *Conservación de los recursos naturales para la una agricultura sostenible*. Materia orgánica y actividad biológica.
- Fernandez, C., Rojas, G., Roldán, G., Ramírez, E., Zerraga, G., Uribe, R., & Reyes, R. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. México D.F.: Secretaria de Medio Ambiente.
- Freifelder, D. (1981). *Técnicas de bioquímica y biología molecular*. Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Freifelder, D. (1991). *Técnicas de bioquímica y biología celular*. Barcelona, España: Reverté.

- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). *Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso*. Matanzas, Cuba: Pastos y Forrajes. Vol 35.
- Gennaro, A. (2000). *Remington Farmacia*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Gil, R. (2002). *El comportamiento físico-funcional de los suelos*. Buenos Aires, Argentina: Instituto de suelos INTA Castelar.
- Gisbert, J., Ibáñez, S., & Moreno, H. (2010). *La textura de un suelo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gordillo, F., & Chavez, E. (2011). *Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Barcelona, España: Reverté SA.
- Hassold, N. (2003). *Einigung des Chroma-Boden-Tests zur Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad*. Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität.
- Heredia , C. (2012). *Análisis de un sistema de cromatografía de campo para la evaluación de calidad de suelos y compost en empresas asociadas a ECOFAS*. Sangolquí - Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito.
- IGAC. (1997). *Consideraciones generales para interpretar un análisis de suelo*. Bogotá D.C: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- IGAC. (27 de 10 de 2016). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Obtenido de Laboratorio Nacional de Suelos: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PIwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+A
- INPOFOS. (1997). *Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo*. Quito, Ecuador: INPOFOS.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R., & Schuman, G. (1997). *Soil quality: a concept, definition a framework for evaluation*. Soil Science Society of America Journal 61: 4-10.
- Labrador, J. (2008). *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. Catarroja, Valencia.: Sociedad Española de agricultura ecológica.
- Laird, R. (1984). *A chromatographic approach to the diagnosis of humus quality and some implications for forest management*. <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/831/items/1.0096161>: University of British Columbia.

- McKean, S. (1993). *Manual de análisis de suelo y tejido vegetal*. Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.
- Molina, P., Lorenzo, A., Velasco, M., Tarraga, A., Alajarín, M., Lidon, J., & Guirado, A. (1991). *Prácticas de química orgánica*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Múnera, G. (2012). *Manual General. Análisis de suelos y tejido vegetal*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Muñoz, M., & Túnez, I. (2004). *Cromatografía en capa fina de lípidos*. Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente. VI Convocatoria (2004-2005) – Universidad de Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Muñoz, S. (2011). *Comparación del análisis químico convencional de suelos con la técnica de cromatografía para agricultura orgánica en transición*. San Vicente, Salvador: Universidad del Salvador.
- Navarro, A., Figueroa, B., Martínez, M., González, F., & Salvador, E. (2007). *Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos*. Montecillo, México: Agricultura técnica en México.
- Olguín, L., & Rodríguez, H. (2004). *Cromatografía de gases. Métodos en biotecnología*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Osorio, N. (s.f). *Muestreo de suelos*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Peiró, V., & Encinar, C. (2008). *Servicio Interdepartamental de Investigación*. Obtenido de Universidad Autónoma de Madrid: https://www.uam.es/ss/Satellite/es/1242668321765/1242666522530/UAM_Laboratorio_FA/laboratorio/Laboratorio_de_Cromatografia_Ionica.htm
- Pellegrini, A. (2014). *Apunte de edafología. Tema 3: Textura y color del suelo*. Universidad Nacional de la Plata.
- Pfeiffer, E. (1984). *Chromatography applied to quality testing*. Wyoming, Rhode Island : Bio-Dynamic Literature.
- Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2011). *Cromatografía. Imágenes de vida y destrucción del suelo*. Cali, Colombia: Feriva.
- Reyes, M., & Barreto, L. (2010). Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Revista Épsilon*, 31-45.
- Romero, A. (2002). *Cromatografía. Curso de métodos*. Instituto de Biotecnología UNAM.
- Rubio, A. M. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural de los Alcornosques*. Sevilla: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola .
- Saavedra, T., Figueroa, G., Gómez, B., & Herrera, C. (2013). Uso de cromatogramas en el análisis de composta tipo Bocashi y comparación con dos suelos. *Congreso Nacional de Ciencia y*

Tecnología Agropecuaria. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, A.C. e Instituto Tecnológico de Roque.

Silva, M., & García, M. (2006). *Laboratorio de Bioquímica*. Sevilla, España: MAD S.L.

Singer, M., & Ewing, S. (2000). *Soil quiality*. Bocarátón Florida: M.E Sumner.

UNAL. (10 de Septiembre de 2012). *Análisis químico de suelos*. Obtenido de <http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/servicios.html>

Universidad de Burgos. (s.f.). *Grupo de Polímeros*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/grupodepolimeros/cromatografia-en-columna>

Universidad de Valencia. (2011). *Introducción a la cromatografía*. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/564113864.introduccion%20cromatografia%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/564113864.introduccion%20cromatografia%20(1).pdf)

USDA. (1998). *Soil quality resource concerns: Soil Biodiversity*. Soil quality information sheet.

Varcárcel, M., & Gómez, A. (1988). *Técnicas analíticas de separación*. Barcelona, España: Reverté S.A.

Zuazogoitia, D., & Villaroel, J. (2015). Estudiando la importancia de la materia orgánica del suelo: una propuesta educativa para educación secundaria. *Educación Química*, 37 - 42.

ANEXO 1: Análisis de suelo convencional.



LABORATORIO DE SUELOS TERRALLANOS **RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS DE SUELOS**

NIT. 17350824-5
 Teléfono: 316 4727041
 Kilómetro 2 vía Aeropuerto - Vereda La Aurora
 Villavicencio, Meta

SOLICITANTE: GABRIEL ROMERO CAICEDO	FECHA RECIBO
PROPIETARIO: ALVARO BELTRAN	FINCA : SAN ANDRES
VEREDA: SANTA ISABEL	MUNICIPIO: CONCORDIA
DEPTO: META	FECHA ENTREGA
No. LABORATORIO: 509	No MUESTRA: 5 HECTAREAS
	7 4 16

Textura	pH	C	M. O.	C/N	N	P	Al	RELACION DE CATIONES			
	1:1	%	%	%	%	ppm	meq/100g	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
FAr	4,9	2,78	4,80	11,80	0,24	0,7	4,60	2,00	4,44	2,22	6,67
	Muy fert. ácido				0,10 - 0,20	15,00 - 40,00	0,10 - 1,00	3,00 - 6,00	15,00 - 30,00	10,00 - 15,00	20,00 - 40,00
					A	B	A	B	B	B	B

PARAMETROS	COMPLEJO DE CAMBIO meq / 100 g						% DE SATURACIONES					
	CIC	BT	Ca	Mg	K	Na	SCa	SMg	SK	SNa	STAI	STB
Resultado Análisis	22,5	0,73	0,40	0,20	0,09	0,04	1,78	0,89	0,40	0,18	86,30	3,24
Rango Adecaudo			3,00 - 10,00	1,50 - 3,00	0,20 - 0,40	0,10 - 1,00	50,00 - 60,00	10,00 - 20,00	2,00 - 3,00	5,00 - 15,00	25-50	35,00 - 50,00
Calificación			B	B	B	B	B	B	B	B	A	B

PARAMETROS	ELEMENTOS MENORES – Partes por Millón (ppm)					
	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
Resultado Análisis	1,10	223,12	48,25	0,15	0,74	1,02
Rango Adecaudo	1,00 - 3,00	20,00-100,00	10,00 - 20,00	2,00 - 4,00	0,30 - 0,60	10,00 - 20,00
Calificación	N	A	A	B	A	B

Cultivo: PASTOS A ESTABLECER.

CAL DOLOMITICA 1Tn/ha ASIR: ANTES DE LA SIEMBRA, INCORPORANDOLA EN EL SUELO.
 ROCA FOSFORICA 1Tn/ha (ASIR)
 CLORURO DE POTASIO 75Kg/ha MS: AL MOMENTO DE LA SIEMBRA
 SULFATO DE ZINC 15 Kg/ha (MS)
 UREA 50 Kg/ha DS: DESPUES DE LA SIEMBRA

Observaciones:

JULIO CESAR MORENO